

УДК 628.112.24

Долговечные скважины со встроенными системами зафильтровой регенерации

В. В. ИВАШЕЧКИН*

* Ивашечкин Владимир Васильевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство», Белорусский национальный технический университет
220013, Белоруссия, г. Минск, проспект Независимости, 65, тел.: (37517) 265-95-89, e-mail: ivashechkin_vlad@mail.ru

Приведены результаты исследований долговечности 224 вышедших из строя скважин 11 подземных водозаборов г. Минска. Показано, что средний срок службы скважин типовых конструкций составляет 18–22 года, а основными причинами их выхода из строя являются пескование и остаточный кольматант, не удаляемый обычными ремонтными мероприятиями, проводимыми изнутри фильтров. Представлена новая конструкция водозаборной скважины, оснащенной системой зафильтровой регенерации, состоящей из 4–5 полиэтиленовых закачных трубок (пьезометров). Трубки имеют перфорацию напротив фильтра скважины и выведены на ее устье, смонтированы в затрубном пространстве скважины на внешнем контуре гравийной обсыпки. Предложены технологические схемы реагентной и безреагентной промывки скважин. Показано, что симметричное расположение тру-

бок позволяет осуществлять радиально направленное движение промывного потока в обсыпке при одновременной работе эрлифта или насоса, смонтированного в фильтровой колонне. Рассмотрена технология сооружения скважины. Приведены результаты натурных испытаний системы зафильтровой регенерации новой скважины в режиме гидродинамической промывки гравийной обсыпки от остатков бурового раствора и шлама. Предлагаемая конструкция водозаборной скважины с гравийным фильтром отличается повышенной ремонтопригодностью, простотой и может быть рекомендована для добычи подземных вод из рыхлых водовмещающих пород.

Ключевые слова: водозаборная скважина, гравийный фильтр, зафильтровая регенерация, закачная трубка, прифильтровая зона.

На 11 подземных водозаборах г. Минска были проведены исследования долговечности 224 вышедших из строя высокодебитных скважин, пробуренных в рыхлых водовмещающих породах. Средний срок службы скважин типовых конструкций составил 18–22 года [1]. Близкие значения были получены при изучении долговечности скважин в Новосибирской области [2]. Основные причины выхода скважин из строя — кольматант и пескование [1; 2], причем нередко пескование связано с кольматантом отдельных участков фильтра, перераспределением расхода и недопустимым ростом скорости фильтрации на других участках.

В процессе исследований было установлено, что в последние годы перед ликвидацией скважины работали с низким удельным дебитом и слабо поддавались восстановительным мероприятиям. Их эксплуатация становилась экономи-

чески невыгодной, так как возрастал напор насоса, и вследствие понижения уровня в скважине увеличивалась себестоимость добываемой воды. Кольматант к этому моменту приобретал высокую прочность и в большом объеме накапливался в прифильтровой зоне. Среднее количество кольматанта на один метр фильтра у длительно эксплуатируемой скважины достигало 45–60 кг. Прирост удельного дебита после текущего ремонта (в основном электроимпульсной регенерации) составлял всего 20–30% или вообще отсутствовал. Скважины перебуривали, что требовало высоких затрат (стоимость сооружения в г. Минске типовой высокодебитной скважины глубиной 60–70 м с павильоном составляет более 70 тыс. долл. США).

Наибольшим сроком службы характеризовались скважины, оборудованные фильтрами гравийного типа со стержневыми каркасами и

нержавеющей проволоочной обмоткой, с толщиной однослойной гравийной обсыпки более 250 мм. Это согласуется с данными, приведенными в работе [3, стр. 227]: «Опыт эксплуатации скважин с отбором воды из песчаных отложений подтверждает, что наиболее длительная эксплуатация скважин с большим дебитом в водах неустойчивого химического состава обеспечивается при установке фильтровых каркасов большой скважности с контуром гравийной обсыпки толщиной 200–300 мм на сторону». В то же время ожидаемая повышенная долговечность скважин подобных конструкций не отменяет высоких требований к эффективности методов их регенерации для обеспечения долговременной надежной работы.

Большой вклад в сохранение высокой производительности водозаборных скважин в процессе многолетней эксплуатации сделан учеными ВНИИ ВОДГЕО: В. С. Алексеевым, В. Т. Гребенниковым, Г. М. Коммунаром, В. Г. Теслей, Е. Ю. Щеголевым, К. Н. Андреевым. Ими разработаны научные и практические основы регенерации скважин импульсными, реагентными, вибрационными, комбинированными и циркуляционными методами, созданы технологии и оборудование для их реализации [3–6].

В то же время, несмотря на большой арсенал имеющихся методов декольматации, полная регенерация длительно эксплуатируемых высокодебитных скважин с гравийными фильтрами при значительных зонах кольматации остается сложной, не решенной до конца задачей. Импульсные методы в данном случае малоэффективны, предпочтительнее одновременное импульсно-реагентное и циркуляционно-реагентное воздействие на отложения [3, с. 328]. Однако стимулирование водоотбора, проводимое изнутри фильтров даже такими интенсивными физико-химическими методами, не позволяет обеспечить первоначальную проницаемость фильтра и прифильтровой зоны из-за высокой прочности сцементированных кольматирующих отложений и значительной глубины их распространения. Далеко не всегда можно соорудить высокодебитные ремонтпригодные скважины, стабильно работающие в течение длительных сроков эксплуатации, поэтому сохранение высокой производительности скважин остается актуальной задачей.

В этой связи предложено усовершенствовать конструкцию скважин с гравийными фильтрами в части повышения их ремонтпригодности путем размещения в затрубном пространстве специальной системы промывки, обеспечивающей

возможность воздействия на отложения снаружи фильтров в дополнение к известным методам регенерации, осуществляемым изнутри.

С этой целью в Белорусском национальном техническом университете разработана конструкция артезианской скважины с зафильтровой системой регенерации, состоящей из нескольких специальных закачных трубок (размещенных в фильтрующей обсыпке), предназначенных для обеспечения дополнительной гидродинамической и реагентной регенерации фильтра и гравийной обсыпки [7–9].

Конструкция скважины и ее текущий ремонт

Зафильтровая система регенерации состоит из 4–5 полиэтиленовых закачных трубок (пьезометров), смонтированных в затрубном пространстве скважины во внешнем контуре гравийной обсыпки, имеющих перфорацию напротив фильтра скважины и выведенных на ее устье (рис. 1). В трубки можно закачивать под давлением воду или реагент для удаления кольматирующих отложений. Симметричное расположение трубок позволяет осуществлять радиально направленное движение промывного потока в обсыпке при одновременной работе эрлифта или насоса, смонтированного в фильтровой колонне.

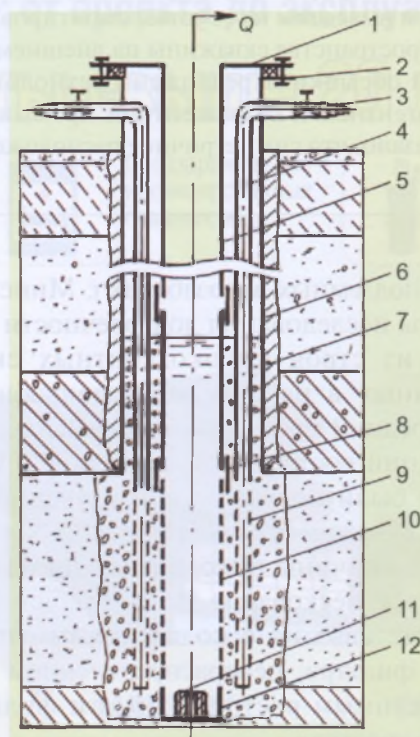


Рис. 1. Конструкция водозаборной скважины с затрубной системой регенерации

1, 2 — фланцы; 3 — вентиль; 4 — циркуляционная трубка; 5 — эксплуатационная колонна; 6 — кондуктор; 7 — затрубная цементация; 8, 11 — муфты; 9 — перфорация; 10 — фильтровая колонна; 12 — отстойник

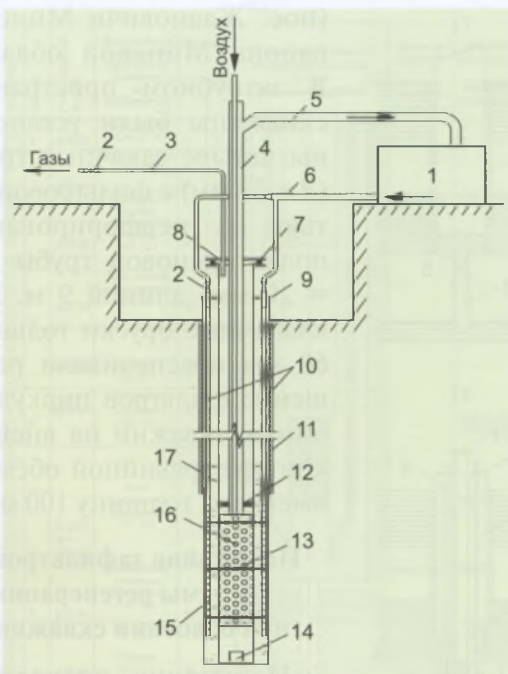


Рис. 2. Схема проведения циркуляционной реагентной регенерации водозаборной скважины

1 – напорный бак; 2 – вентиль; 3 – труба; 4 – эрлифт; 5, 6 – шланги; 7 – уплотнение; 8 – оголовок; 9 – плита; 10 – закачные трубки; 11 – кондуктор; 12 – пакер; 13 – хомут; 14 – муфта; 15 – перфорация; 16 – фильтр; 17 – фильтрующая засыпка

Гидродинамическая промывка

Зафильтровая система регенерации может быть использована для гидродинамической промывки всего объема гравийной обсыпки и фильтра чистой водой с откачкой вымытого кольямтанта насосом из ствола скважины на выброс. Гидродинамическая промывка чистой водой может применяться при освоении скважины после бурения путем выноса из прифильтровой зоны шлама, содержащего остатки бурового раствора, мелкий песок, глинистые частицы, а также на ранних стадиях эксплуатации скважины, пока кольямтант еще не набрал прочность и имеет пастообразную или рыхлопористую структуру.

Реагентная циркуляционная регенерация

Химическая циркуляционная промывка актуальна на более поздних стадиях эксплуатации скважины, когда гидродинамическая промывка уже неэффективна. В закачные трубки из напорного бака (рис. 2) непрерывно подают реагент. Пройдя гравийную обсыпку, реагент вместе с продуктами растворения поступает в эрлифт и подается им из-под пакерного пространства назад в бак, откуда его снова направляют в закачные трубки. Так осуществляют циркуляцию реагента в прифильтровой зоне.

Контроль процесса растворения производят по стабилизации электрического сопротивления раствора [3]. Здесь может применяться комплексная регенерация: вначале производят импульсную обработку внутри фильтра, затем посредством зафильтровой системы последовательно осуществляют циркуляционно-реагентную регенерацию и на завершающем этапе проводят гидродинамическую промывку чистой водой.

Для дезинфекции скважин и борьбы с железобактериями в трубки можно подавать раствор хлорной извести или гипохлорита натрия. В процессе эксплуатации закачные трубки можно использовать в качестве затрубных пьезометров для мониторинга сопротивления фильтра и прифильтровой зоны с целью планирования мероприятий по регенерации. Все это указывает на многофункциональность трубок.

Конструкция скважины, оснащенной зафильтровой системой регенерации, включена в действующий нормативный документ Республики Беларусь – ТКП 17.04-21-2010 (02120) «Правила проектирования, сооружения (строительства), ликвидации и консервации буровых скважин различного назначения (за исключением нефтяных и газовых)». Это позволяет проектировать и сооружать скважины новых конструкций на водозаборах подземных вод.

Строительство скважин

Технологическая последовательность сооружения новой водозаборной скважины представлена на рис. 3. После бурения разведочного ствола 1 (рис. 3, а) и выполнения в нем геофизических исследований, бурят ствол 2 под кондуктор практически до кровли эксплуатационного водоносного горизонта (рис. 3, б). В открытый ствол опускают кондуктор 3 (рис. 3, в) и на всю его высоту производят затрубную цементацию 4 (рис. 3, г). Цементную пробку 5 выбуривают при вскрытии эксплуатационного водоносного горизонта (рис. 3, д). В ствол 6 последовательно опускают фильтровую 7 и эксплуатационную 8 колонны (рис. 3, е), предварительно прикрепив к ним при помощи хомутов 9 закачные трубки 10 с перфорацией 11. Фильтр 7 скважины обсыпают фильтрующей засыпкой 12 до тех пор, пока ее уровень не поднимется на 5–6 м выше башмака кондуктора (рис. 3, ж). После производства строительной откачки межтрубное пространство засыпают продезинфицированным песком и устанавливают сверху глиняный мост. Затем к кондуктору крепят плиту 13 для закрепления закачных трубок, а к эксплуатационной колонне

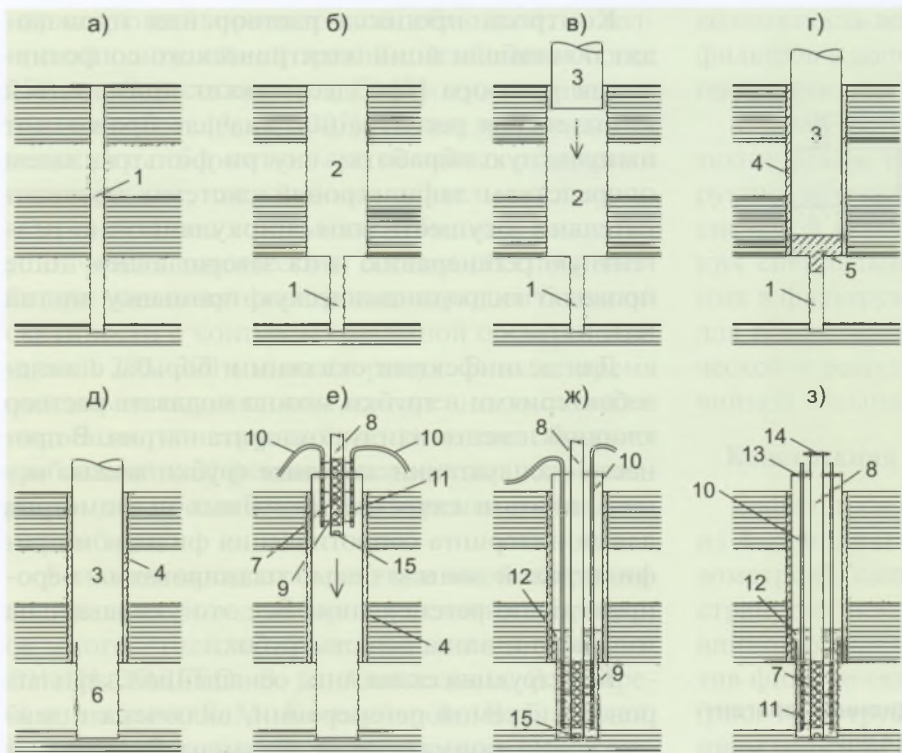


Рис. 3. Технологическая последовательность бурения водозаборной скважины

1 – разведочный ствол; 2 – ствол под кондуктор; 3 – кондуктор; 4 – затрубная цементация; 5 – цементная пробка; 6 – ствол скважины для фильтровой колонны; 7 – фильтровая колонна с отстойником; 8 – эксплуатационная колонна; 9 – захватное приспособление; 10 – закачные трубки; 11 – перфорация трубок; 12 – фильтрующая засыпка; 13 – плита; 14 – фланец; 15 – резьбовая захватная муфта

приваривают фланец 14 (рис. 3, з). Строительство скважины закончено.

На рис. 4 представлен общий вид фильтра (диаметр $d = 219$ мм) в сборе с зафильтровой системой регенерации перед спуском в скважину производительностью $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ и глубиной 62 м

вид ее оголовка с выведенными на устье четырьмя трубками представлены на рис. 5.

При вскрытии водоносного горизонта использовали трехшарошечное долото диаметром 394 мм, в которое буровым насосом непрерывно подавали сапропелевый раствор. Скважина

(пос. Ждановичи Минского района Минской области). В затрубном пространстве скважины были установлены четыре закачные трубки ($d = 32$ мм) с фильтровой частью из перфорированной полиэтиленовой трубы ($d = 20$ мм) длиной 9 м. Подкладочные бруски толщиной 60 мм обеспечивали размещение фильтров циркуляционных скважин на внешнем контуре гравийной обсыпки, имеющей толщину 100 мм.

Испытание зафильтровой системы регенерации при освоении скважины

Испытания проводились на скважине дер. Узла Мядельского района Минской области. В затрубном пространстве были установлены четыре закачные трубки с фильтровой частью из перфорированной полиэтиленовой трубы ($d = 20$ мм). Геологический разрез водозаборной скважины и общий

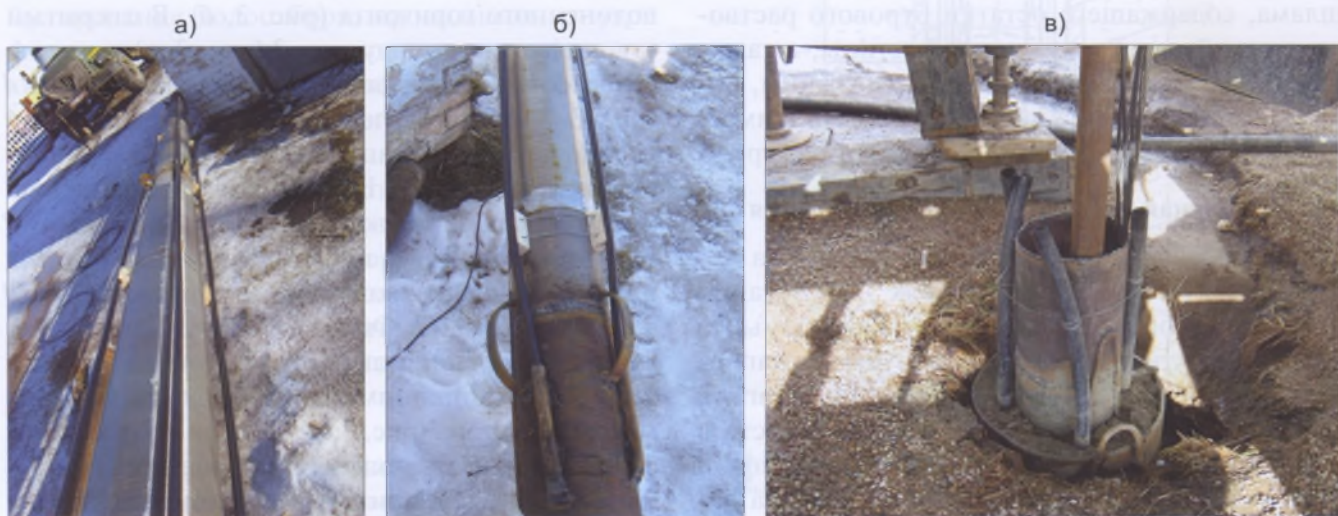


Рис. 4. Сооружение артезианской скважины с зафильтровой системой регенерации в пос. Ждановичи Минского района Минской области

а, б – общий вид средней и нижней частей фильтра с отстойником; в – устье скважины

а)

Месторождение	№ скважины	Геологический интервал	Литогеологическое описание пород (литология по устойчивости)	Глубина, м	Геологический разрез и конструкция скважины д. Узла Мядельского района	Диаметр долота, мм	Диаметр колонны, мм
				от	до	интервал бурения, м	глубина установки, м
1	1	gIII pz	Слои известняков (II / II)	0	4		
2	2	gIII pz	Гравийный слой (IV / II)	4	8	10-10,9 м	176-10,9 м
3	3	gIII pz	Супесь бурый с гравием и галькой (III / II)	8	18		
4	4	gIII pz	Слои известняков (II / II)	18	27		
5	5	gIII pz	Супесь (II / II)	27	32		
6	6	gIII pz	Супесок с гравием (III / II)	32	34	219 (0-34) 168 (34-43)	
7	7	f, lg II sz - gIII pz	Песок кварцевый мелкий (II / II)	34	45	168-43	
8	8	g II sz	Песчаная супесь, глина, песок (II / II)	45	60	168-52	
9	9	g II sz	Супесь (II / II)	60	70	151 (0-70)	

б)



Рис. 5. Водозаборная скважина в дер. Узла Мядельского района Минской области

а – конструкция скважины; б – общий вид оголовка с обвязкой

оборудована проволоочным фильтром диаметром 168 мм и длиной 9 м (в интервале 34–43 м) и зафильтровой системой промывки. Нагнетательные трубы в нижней части имеют напротив фильтра сквозную перфорацию, выполненную сверлом диаметром 1 мм с шагом 100 мм. В качестве материала обсыпки использовали крупнозернистый песок (фракция 1–1,8 мм). В фильтре перед началом испытаний зафильтровой системы оставалась песчаная пробка, которая закрывала нижнюю половину фильтра высотой 4,5 м (рис. 5, а). Удельный дебит скважины составлял всего 0,1 м³/ч, что объяснялось наличием песчаной пробки в фильтре и неполным удалением

остатков бурового шлама и пластового песка из прифильтровой зоны. Технологическая схема проведения зафильтровой промывки и общий вид оборудования представлены на рис. 6.

Промывка скважины производилась следующим образом. Включали находящийся в скважине погружной насос 1 марки ЭЦВ 5-10-50 на откачку воды в емкость 4. При ее наполнении включали центробежный консольный насос 6 марки ХМ 32-20-125К-5 системы промывки, который из емкости через гребенку 9 подавал воду в закачные трубы с расходом $Q = 5$ м³/ч. Так как производительность погружного насоса 1 ($Q = 10$ м³/ч) была больше, чем производительность насоса 6 системы промывки, избыток воды со шламом удаляли из бака 4 за пределы зоны строгого режима скважины по сливной линии 10. Для этого бак был разделен на два отсека. Вентильми 3 регулировали производительность насосов 1 и 6 и поддерживали необходимый уровень в баке 4. Процесс промывки скважины продолжали до полного прекращения выноса песка и шлама. В результате испытания зафильтровой системы регенерации удалось повысить удельный дебит скважины в 4 раза, что свидетельствует о работоспособности системы при гидродинамической безреагентной промывке прифильтровой зоны.

Капитальный ремонт скважин

При снижении эффективности текущего ремонта или выходе из строя фильтра принимается решение о капитальном ремонте скважины, который предполагает извлечение старого фильтра, его замену, выбуривание старой гравийной обсыпки и установку нового фильтра. Наиболее эффективным способом извлечения фильтровой колонны является сочетание тягового усилия, приложенного через муфту 8 (рис. 1) к низу отстойника, и вибрационного воздействия на колонну.

Перед извлечением фильтра проводится его импульсная обработка и закачка реагента через трубки. Реагент размягчает цементационные связи на контакте гравийной обсыпки и водоприемной поверхности фильтра. После извлечения фильтра в кондуктор на забой опускают породоразрушающий инструмент. В процессе бурения удаляют старую обсыпку. Новый или восстановленный старый фильтр опускают в открытый ствол вместе с отстойником и новыми закачными трубками. Извлеченные стальные обсадные трубы используются повторно. После этого устраивают новую фильтрующую обсыпку. Строительство скважины закончено.

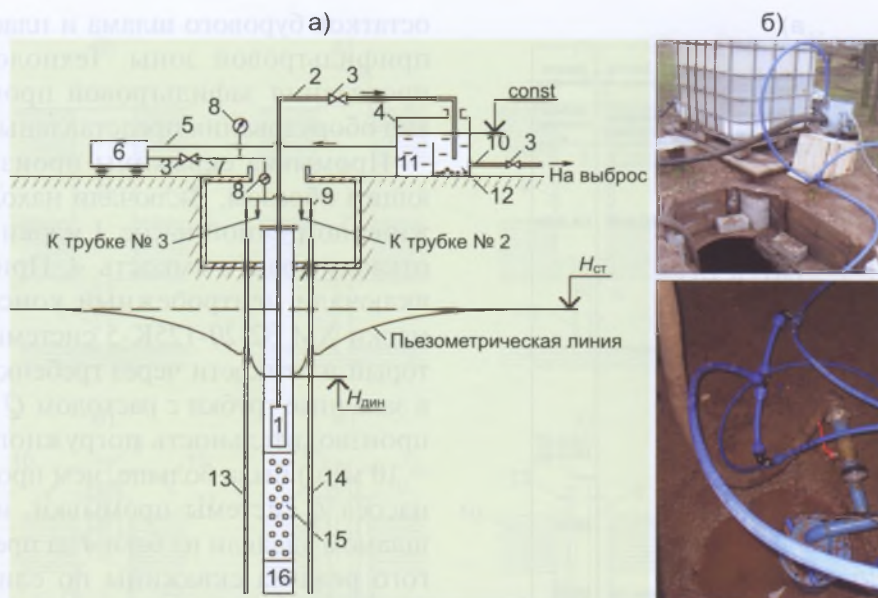


Рис. 6. Зафильтровая гидродинамическая промывка скважины в дер. Узла Мядельского района Минской области

а – технологическая схема; б – общий вид установки; 1 – погружной насос; 2 – водоподъемный трубопровод; 3 – вентили; 4 – емкость; 5 – всасывающая труба; 6 – насос системы промывки; 7 – нагнетательная линия; 8 – манометры; 9 – гребенка; 10 – сливная линия; 11 – отсек чистой воды; 12 – отсек грязной воды; 13 – трубка № 3; 14 – трубка № 1; 15 – фильтр; 16 – отстойник

Выводы

1. Анализ срока службы вышедших из строя скважин (пробуренных на водозаборах г. Минска) с гравийными фильтрами подтвердил высокую интенсивность старения высокодебитных скважин, эксплуатируемых в водах неустойчивого химического состава. Основные причины выхода их из строя – вынос песка и прогрессирующая кольматация, обусловленная недостаточной эффективностью применяемых методов регенерации.
2. Для повышения эффективности восстановительных мероприятий, осуществляемых внутри фильтров скважин, наряду с обычными методами регенерации предложено производить зафильтровую гидродинамическую и циркуляционно-реагентную регенерацию. Это требует внесения изменений в конструкцию типовой водозаборной скважины с гравийным фильтром. Для реализации зафильтровой регенерации предложено устанавливать в затрубном пространстве скважины во внешнем контуре гравийной обсыпки четыре–пять закачных полиэтиленовых трубок, перфорированных напротив фильтра и выведенных на устье скважины. В процессе эксплуатации закачные трубки также можно использовать в качестве затрубных пьезометров для мониторинга сопротивления фильтра и прифильтровой зоны с целью планирования мероприятий по ре-

генерации, а также для борьбы с железобактериями путем подачи раствора хлорной извести или гипохлорита натрия. Все это указывает на многофункциональность трубок.

3. Разработаны технологии строительства, текущего и капитального ремонта скважины. Проведены серии лабораторных исследований и пробные опыты по проверке работоспособности системы зафильтровой регенерации в натурных условиях при удалении остатков бурового раствора и шлама безреагентным методом. Конструкция скважины, оснащенной зафильтровой системой регенерации, запатентована и включена в действующий нормативный документ Республики Беларусь, что позволяет проектировать и сооружать скважины новых конструкций на водозаборах подземных вод.

4. Предлагаемая конструкция водозаборной скважины с гравийным фильтром отличается повышенной ремонтпригодностью, простотой и может быть рекомендована для добычи подземных вод из рыхлых водовмещающих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейко А. М., Ивашечкин В. В., Холдинская Н. В., Макарова Э. А. Анализ долговечности водозаборных скважин г. Минска // Вестник БНТУ. 2006. № 1. С. 27–32.
2. Квашнин Г. П., Деревянных А. И. Водозаборные скважины с гравийными фильтрами. – М.: Недра, 1981. 216 с.

3. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры буровых скважин – М.: Недра, 1985. 334 с.
4. Алексеев В. С., Гребенников В. Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: Агропромиздат, 1987. 239 с.
5. Щеголев Е. Ю. Регенерация водозаборных скважин импульсными методами: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1987. 140 с.
6. Тесля В. Г. Циркуляционная регенерация скважин и пласта: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1986. 144 с.
7. Пат. 9453, Республика Беларусь. МПК С 1, Е 21 В 43/00, В 03 В 03/00. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении / Ивашечкин В. В., Кондратович А. Н., Герасименок И. А., Крук Н. И., Рытько И. В. // Афіцыйны бюл./цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2007. № 3.
8. Пат. 17098, Республика Беларусь. МПК С 1, Е 21 В 43/00. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении / Ивашечкин В. В., Автушко П. А. // Афіцыйны бюл./цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 2.
9. Ивашечкин В. В., Автушко П. А., Шейко А. М. Исследование установившегося движения жидкости в прифилтровой зоне скважины при ее регенерации с помощью трубчатой зафилтровой системы промывки // Энергетика. 2013. № 5. С. 85–94.

Durable wells with built-in downstream of the filter regeneration systems

V. V. IVASHECHKIN*

* Ivashechkin Vladimir Vasil'evich, Doctor of Engineering, Assistant Professor, Department Chair, «Hydraulic and Power Engineering» Department, Belarusian National Technical University
65 Nesavisimosti Ave., 220013 Minsk, Belarus, tel.: (+37517) 265-95-89, e-mail: ivashechkin_vlad@mail.ru

The results of the studies of the durability of 224 unserviceable wells of 11 underground water intakes of Minsk city are presented. It is shown that the average service lifetime of the wells of typical design is 18–22 years, and the main causes of their outage are sanding and residual colmatage that cannot be removed by traditional repair works within the filters. A new design of a ground water well equipped with a system of downstream of the filter regeneration consisting of 4–5 polyethylene injection tubes (piezometers) is presented. The tubes have perforations opposite the well filter and are lead out onto the wellhead, installed in the hole clearance on the external boundary of the gravel package. Process flow schemes of chemical and chemical free well washing are suggested. It is shown that the symmetrical arrangement of the tubes provides for the radial directional washing flow in the gravel package at simultaneous operation of an airlift or a pump installed in the filter column. The technology of well construction is considered. The results of field testing the system of downstream of the filter regeneration of a new well in the mode of hydrodynamic washing drill mud and sludge out of the gravel package are presented. The suggested design of a water well with a gravel filter is specified by improved repairability, simplicity and can be recommended for underground water abstraction from soft water bearing rock.

Key words: water well, gravel filter, downstream of the filter regeneration, injection tube, near filter zone.

REFERENCES

1. Sheiko A. M., Ivashechkin V. V., Kholodinskaia N. V., Makarova E. A. [The analysis of water well durability in Minsk]. *Vestnik BNTU*, 2006, no. 1, pp. 27–32. (In Russian).
2. Kvashnin G. P., Dereviannykh A. I. *Vodozabornye skvazhiny s graviinymi fil'trami* [Water wells with gravel filters. Moscow, Nedra Publ., 1981, 216 p.].
3. Gavrilko V. M., Alekseev V. S. *Fil'try burovyykh skvazhin* [Bore well filters. Moscow, Nedra Publ., 1985, 334 p.].
4. Alekseev V. S., Grebennikov V. T. *Vosstanovlenie debita vodozabornykh skvazhin* [Water well output recovery. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987, 239 p.].
5. Shchegolev E. Iu. *Regeneratsiia vodozabornykh skvazhin impul'snymi metodami* [Water well regeneration with pulse methods. PhD thesis in Engineering Science. Moscow, 1987, 140 p.].
6. Teslia V. G. *Tsirkuliatsonnaia regeneratsiia skvazhin i plasta* [Circulating regeneration of wells and aquifers: PhD thesis in Engineering Science. Moscow, 1986, 144 p.].
7. Ivashechkin V. V., Kondratovich A. N., Gerasimenok I. A., Kruk N. I., Ryt'ko I. V. [Pat. 9453, Republic of Belarus. IPC C 1, E 21 B 43/00, B 03 B 03/00. Water well design at rotary drilling. *Aficyjny bjul./cjentr untjelektual. ulasnasci*, 2007, no. 3].
8. Ivashechkin V. V., Avtushko P. A. [Pat. 17098, Republic of Belarus. IPC C 1, E 21 B 43/00. Water well design at rotary drilling. *Aficyjny bjul./cjentr untjelektual. ulasnasci*, 2013, no. 2].
9. Ivashechkin V. V., Avtushko P. A., Sheiko A. M. [Studying steady state flow of liquid in near filter zone of a well during its regeneration with the help of the downstream of the filter tubular washing system]. *Energetika*, 2013, no. 5, pp. 85–94. (In Russian).